

## **РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭКОНОМИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗАГОТОВКИ ГИБКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА И ПРОГРЕССИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАРЕЗАНИЯ ЗУБЬЕВ НА ГИБКОМ И ЖЁСТКОМ КОЛЁСАХ ВОЛНОВОЙ ТОРЦЕВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ**

М. В. Маргулис, профессор, д. т. н., Н.В.Кисель, ст. гр. ТМ-07-м  
ГВУЗ «ПГТУ»

Анализ технико-экономических показателей приводов металлургических, транспортных, горнорудных, грузоподъемных и других машин, выполненный отечественными и зарубежными учёными, показал, что они не соответствуют современным требованиям и должны быть значительно улучшены.

Таким образом, совершенствование приводов машин в настоящее время является одной из актуальнейших проблем машиностроения. Это связано с тем, что привод является наиболее сложной, трудоёмкой и ответственной частью любой машины. От его качества в большой мере зависит производительность, надёжность, долговечность и экономичность машины.

Для повышения этих показателей необходимы разработки новых высокоэкономичных видов передаточных механизмов приводов. К таким механизмам относится волновая зубчатая передача. Волновая передача — механическая передача, передающая движение за счет циклического возбуждения волн деформации в гибком элементе.

Торцевая волновая зубчатая передача (ТВЗП) является конструктивной разновидностью волновых зубчатых передач. Применение ТВЗП может значительно уменьшить осевые размеры и массу передаточного механизма при сохранении всех преимуществ волновых передач перед не волновыми, такими как: уменьшение массогабаритных параметров механизма, повышение КПД, увеличение надежности, уменьшение себестоимости изготовления и эксплуатации.

Гибкое колесо ТВЗП имеет специфическую конструкцию в виде гибкого тонкостенно диска, на котором выполнены мелко модульные зубья, которые несут большие изгибные и контактные нагрузки.

Для решения поставленных задач, предлагается применить новую высокоэкономичную конструкцию заготовки гибкого колеса, а так же прогрессивный процесс нарезания мелко модульных зубьев на гибком и жестком колесах. Данные решения помогут повысить производительность, снизить себестоимость, обеспечить необходимую

работоспособность и долговечность торцевой волновой зубчатой передачи в условиях серийного производства.

Известны два способа получения заготовки гибкого колеса ТВЗУ:

Ранее изготавливалась из цельного листа высококачественной легированной стали и из двух частей – базового тонкостенного диска из менее прочной стали, на котором наплавляется многослойное кольцо из высокопрочного материала для нарезания зубьев.

Однако, оба эти способа нерациональны, т.к. коэффициент использования материала весьма низкий  $k_{исп}=0,4...0,45$ , а трудоёмкость высокая.

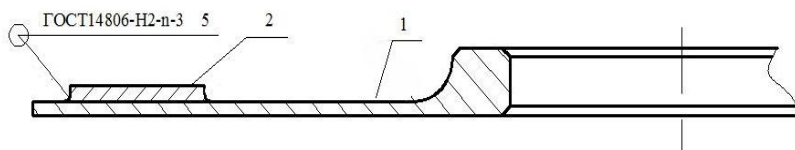


Рис.1 Эскиз предложенной конструкции заготовка гибкого колеса ТВЗП

Нами предложен способ получения заготовки гибкого колеса выполненной из двух элементов (рис.1): базового диска 1 сталь 40Х ГОСТ 4545-71 из листового горячекатаного проката ГОСТ 19903-74 и кольца 2, из горячекатаной цельнотянутой трубы ГОСТ 8732-78 изготовленной из стали 30ХГСА ГОСТ 4543-71, соединённых в цельную конструкцию посредством сварки специальными электродами НИАТ-5. Данный способ получения заготовки гибкого колеса ТВЗП приводит к снижению трудоёмкости и себестоимости, а также повышению производительности изготовления заготовки гибкого колеса в условиях серийного производства.

Использование предложенного нами процесса сварки при изготовлении гибкого колеса из двух частей обеспечивает значительное уменьшение массы заготовки ( $k_{исп}=0,8$ ), в отличие от способа получения цельной заготовки из высоколегированной стали или от метода наплавки рабочего слоя на базовый диск. Это объясняется тем, что масса сварных швов обычно составляет от 1 до 2% от массы свариваемых элементов, тогда как масса наплавляемого слоя составляла 35% от свариваемых частей заготовок.

После сварки шов имеет аналогичный химический состав и близкие механические свойства со свариваемыми частями заготовки предложенной конструкции. На рис.2 приведен график значения микро

твёрдости сварного шва из электродов НИАТ-5 при сварке образцов из стали 30ХГСА ГОСТ 4543-71.

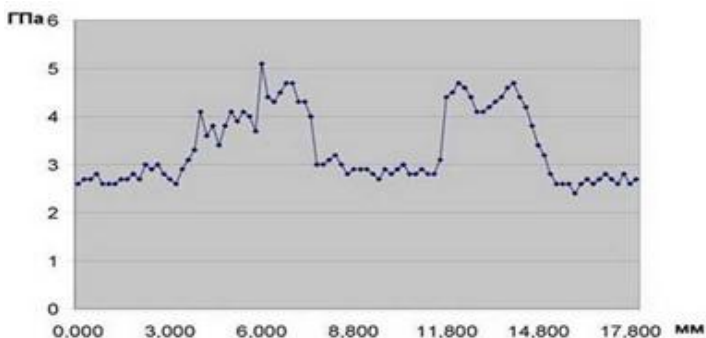


Рис.2 Микротвердость на расстоянии 2мм от верхней поверхности сварного шва стали 30ХГСА

Временное сопротивление разрыву для стали 30ХГСА = 590 МПа; твердость шва = 88 HRB. Допускаемое напряжение на гибком колесе при кручении для нашей ТВЗП составляет 67МПа. Следовательно, заготовка, полученная методом сварки, полностью соответствует прочностным характеристикам, предъявляемым к гибкому колесу ТВЗП. Трудоемкость при сварке уменьшается в 8..9 раз по сравнению с методом наплавки из-за сокращения штучно - калькуляционного времени на сварку и последующей механической обработки.

В торцевой волновой зубчатой передаче сложным конструктивным элементом являются зубчатые венцы гибкого и жёсткого колёс. Ранее для выполнения зубьев использовался метод нарезания с помощью дисковой фрезы на фрезерном станке с ЧПУ (с поворотным столом). Недостатком данного метода является низкая точность зубчатого профиля и высокая трудоемкость.

Существенно повысить точность и уменьшить трудоемкость изготовления с учётом мелкомодульности ( $m=1...2\text{мм}$ ) зубчатого профиля гибкого колеса можно с помощью холодной накатки венца. Накатывание зубьев предлагается осуществлять методом холодного пластического деформирования материала специальным инструментом, включающим два силовых ролика, которые осуществляют формообразование зубьев. Процесс основан на принципе накатывания и отличается высокой производительностью и точностью выполнения зубьев. Точность холодной накатывания зубьев зубчатых колес соответствует 6-7-й степени по ГОСТ 1643-56, а шероховатость

обработанной поверхности зуба  $Ra=0,63-0,04\text{мкм}$ . Процесс основан на принципе обкатывания.

Образование профиля зубьев (сталь 30ХГСА ГОСТ 4543-71) двумя накатными роликами, производится радиальной подачей). Для изготовления роликов используется ферромагнитный материал Р6М5 ГОСТ 2590-88. При пластическом деформировании заготовок происходит упрочнение металла зубьев шестерен, выражающееся в увеличении микротвердости зубьев примерно на 40-50%. При этом наблюдается существенное увеличение прочности накатных зубьев по сравнению с фрезерованием и долблением.

Учитывая изложенное нами в качестве рабочего инструмента предложена конструкция с использованием двух накатных роликов, которые посредством радиальной подачи устанавливаются над рабочей поверхностью заготовки (рис.3). Диаметры роликов составляют 75% от диаметра зубчатого профиля. Накатывание осуществляется при глубине вдавливания первого ролика  $1/3$ , а  $2/3$  высоты профиля зубьев – вторым роликом. Это связано тем, что прочность поверхностного слоя материала значительно выше прочности внутреннего слоя материала заготовки.

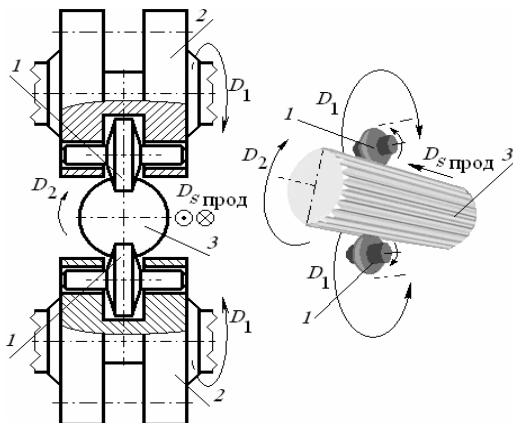


Рис. 3 Процесс накатки двумя роликами с радиальной подачей и различной глубиной вдавливания

Характер распределения твердости по профилю накатных зубьев для различных материалов в большинстве своем одинаков, а величины твердости зависят от исходного накатываемого материала заготовки. На рис. 4 показано распределение твердости по профилю зуба накатанного зубчатого колеса из хромистой стали 40Х ГОСТ 4543-71. В зоне наибольших деформаций заготовки обычно

наблюдается повышение твердости на 30—50% по сравнению с исходной твердостью заготовки.

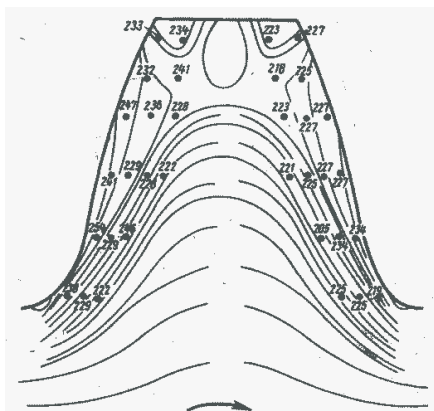


Рис. 4 Распределение твердости по профилю накатного зуба (сталь 40Х) S по Бринеллю (HВ)

При накатывании в холодном состоянии следует ограничить величины подач инструмента до  $S = 15 \dots 20$  об/мин, так как это приводит к резкому увеличению усилия накатывания, увеличению нагрузки на инструмент и снижению точности и шероховатости поверхности. На рис. 5 приведена зависимость шероховатости поверхности от скорости и подачи при холодном накатывании зубчатых колес.

Таким образом, применение метода холодной накатки мелко модульного профиля гибкого и жёсткого колёс ТВЗП увеличивает прочность поверхностного слоя в отличие от метода фрезерования за счёт пластического деформирования, повышает точность зубчатого профиля, увеличивает производительность и уменьшает себестоимость изготовления в связи с применением двух роликов с радиальной подачей на разную глубину вдавливания. Т.о. предлагаемый технологический процесс изготовления зубчатых венцов холодным накатыванием является прогрессивным, т.к. повышает качество, уменьшает массу заготовки, трудоёмкость и себестоимость изготовления мелко модульного профиля гибкого и жёсткого колёс ТВЗП.

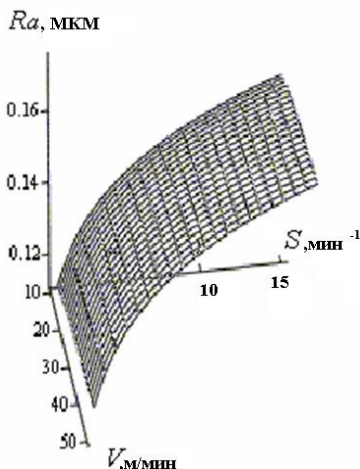


Рис. 5 Зависимость  $R_a$  при накатывании от  $V$  и  $S$